ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201810.00247v1

DOI:10.11931/guihaia.gxzw201807034

深挖垦复对锥栗重要农艺性状及土壤理化性质的影响

江锡兵[1]，杨龙[2]，吴聪连[2]，章平生[1]，龚榜初[1*]，赖俊声[2]
（1.中国林业科学研究院亚热带林业研究所，杭州 311400；2.庆元县林业局，浙江 庆元 323800）

摘要：为探索锥栗林地高效的土壤管理方式，提升我国锥栗栽培管理技术水平，进而提高其产量、品质以及经济效益，该研究采用全垦和环垦 2 种方式对锥栗林地进行连续 4 年的深挖垦复，通过测定垦复前后土壤理化性质变化以及锥栗树体生长、叶片表型和生理特征、结果性状、产量及品质等重要农艺性状，统计数据并进行对比分析。结果表明：（1）深挖垦复对锥栗林地土壤理化性质改善效果显著，2 种垦复方式土壤容重较垦复前降低 31.21%及以上（0-30 cm 处），土壤含水率、土壤孔隙度、有机质含量以及各种大量元素含量较垦复前和对照均有不同程度的增加，土壤肥力及其保水保肥能力显著增强；（2）环垦区土壤有机质含量、有效磷含量以及交换性镁含量高于全垦区，其土壤有机质含量较垦复前增加 40.59%，远高于全垦增加幅度（17.76%），从土壤保肥能力的角度来看，环垦效果优于全垦；（3）土壤肥力的提升增强了其对锥栗叶片的供肥能力，使得叶片含水率、叶绿素含量以及各种矿质元素含量显著增加，从而提升其光合作用能力；（4）深挖垦复对锥栗树体生长、结实能力、产量及品质同样具有显著的提升效果，其中全垦和环垦区单位面积产量分别是对照的 1.75 倍和 1.33 倍，且栗苞总重、单果质量、出籽率、可溶性糖含量以及磷、钾元素含量显著高于对照，而空苞率显著低于对照。综上，深挖垦复是改良林地土壤和提高锥栗生产力的有效举措。
关键词：锥栗；深挖垦复；土壤理化性质；结实能力；产量；营养品质

Effects of deep digging and reclamation on important agronomic traits of *Castanea henryi* and soil physical and chemical properties

JIANG Xibing[1], YANG Long[2], WU Conglian[2], ZHANG Pingsheng[1],
GONG Bangchu[1*], LAI Junsheng[2]
（1. *Research Institute of Subtropical Forestry*, *Chinese Academy of Forestry*, Hangzhou 311400, China;
2. *Forestry Administration of Qingyuan County*, Qingyuan 323800, Zhejiang, China）

Abstract: To explore the efficient soil management mode of *Castanea henryi* forest, enhance the cultivation and management level of *C. henryi*, and further improve its yield, quality and economic benefits. Two ways of whole area reclamation and ring area reclamation were used to carry out deep digging and reclamation for *C. henryi* woodland soil four years. The changes of soil physical and chemical properties before and after reclamation, the tree growth, leaf phenotype and physiological characteristics, fruiting, yield and quality of *C. henryi* were measured, and the statistical data were compared and analyzed. The results were as follows: (1) The effect of deep excavation on soil physical and chemical properties of *C. henryi* forest was remarkable. Soil bulk density of the two reclamations were increased by 31.21% and

基金项目：国家“十二五”科技支撑计划专题（2013BAD14B0403）；浙江省农业新品种选育重大专项（2016C02056-6）[Supported by the National “12th Five-Year” Science and Technology Support Program (2013BAD14B0403)；Zhejiang Science and Technology Major Program on Agricultural New Variety Breeding (2016C02056-6)]。
作者简介：江锡兵（1983 - ），男，安徽安庆人，博士，助理研究员，主要研究方向为经济林育种与栽培技术研究，（E-mail）jxb912@126.com。
[*]通信作者：龚榜初，男，博士，研究员，研究方向为经济林育种与栽培技术研究，（E-mail）gongbc@126.com。

more (0-30 cm), and the soil moisture content, soil porosity, organic matter content and various macroeliement content were increased in different degrees, soil fertility and its ability to maintain water and fertilizer had been enhanced significantly. (2) The soil organic matter content, available phosphorus content and exchangeable magnesium content in the ring reclamation area were higher than those in the whole reclamation area, and the soil organic matter content of ring reclamation increased by 40.59% compared with that before reclamation, which was far higher than that of whole reclamation (17.76%). Those indicated that the effect of ring reclamation was better than that of whole reclamation form the view of soil fertilizer reservation ability. (3) The improvement of soil fertility enhanced its fertilizer supply ability to the chestnut leaves, and the water content, chlorophyll content and various mineral elements contents of leaves were increased significantly, thus enhancing its photosynthesis ability. (4) Deep digging and reclamation also had significant improvement effect on the tree growth, fruiting ability, yield, chestnut weight and its nutritional quality, thereinto, the yield per unit area of whole reclamation and ring reclamation were 1.75 times and 1.33 times as much as the control respectively, and the total weight of chestnut bract, nut weight, seed rate, soluble sugar content, phosphorus and potassium content were significantly higher than the control, while the percentage of empty bracts were significantly lower than the control. In summary, deep digging and reclamation is an effective measure to improve woodland soil and improve productivity of *C. henryi*.

Key words: *Castanea henryi*, deep digging and reclamation, soil physical and chemical properties, fruiting ability, yield, nutrition quality

chinaXiv:201810.00247v1

锥栗（*Castanea henryi*）是我国南方著名的干果和特色经济林树种，广泛分布于秦岭、淮河以南的浙江、福建、安徽、江西、湖南等 14 个省（市、区），尤以浙南闽北地区资源最为集中。其坚果似锥形，风味独特、品质优良，且富含淀粉、可溶性糖、蛋白质以及人体所需的多种维生素和矿质元素，营养价值较高（龚榜初和刘国彬，2013；马海泉等，2013；Fan et al, 2015）。

目前，我国锥栗人工栽培面积约 120 万亩，年产量仅 7.5 万 t，单位面积产量不足 70 kg/亩，亩产收益不足 1500 元，土地利用率、经济效益等均未得到充分发挥（杨龙等，2018）。除去品种因素外，栽培管理技术落后是限制锥栗产量和效益增长的主要因素，其中土壤管理是锥栗栽培管理中最为重要的一个环节，锥栗树体生长、养分积累、产量及品质等与土壤管理水平存在极大的关联（彭小博，2017）。锥栗一般种植于较为贫瘠的山地、丘林地，随着林分年龄的增长，加之灌溉、施肥、防病虫和除草药剂的频繁使用以及极端干旱天气等诱因，致使林地土壤板结现象突出，土壤透气性、保水能力以及有机质含量等逐年降低，甚至出现水土流失、石漠化现象，且对于肥料不能充分吸收和有效利用，从而导致锥栗树体营养不良，长势差，产量和品质不佳。

深挖垦复是改善林地土壤结构和肥力的有效举措，目前已在油茶、核桃等经济林树种上广泛应用，且取得良好效果（黄应成，2009；姜志娜，2012；费晓康，2013），而在锥栗上虽有少量林地使用该方法，但其对土壤理化性质以及锥栗生长、结实、产量及品质等影响尚缺乏系统性研究。因此，本文采用全垦和环垦 2 种方式对锥栗成林林地进行连续多年的深挖垦复，对其土壤理化性质变化以及锥栗树体生长、叶片表型和生理特征、结果性状、产量及品质进行观测和对比分析，以探索锥栗林地高效的土壤管理方式，为提高我国锥栗栽培管理技术水平、提升锥栗产量和经济效益提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况和试验材料

试验地设在浙江省庆元县屏都街道洋背村锥栗园区，海拔 350 m，土壤为黄壤土，肥力较差；锥栗嫁接苗种植于 2006 年春季，栽植密度 4 m × 4 m，主要品种为浙江省审定良种‘早香栗’，配置少量授粉树品种；田间管理条件一般，因长期未进行深翻等抚育管理，土壤板结严重，透气性和

保水能力较差。

1.2 试验方法

试验于 2014 年 1 月至 2017 年 12 月进行，历时 4 年，采用全垦（以树体基部为中心，半径 1 m 圆形以外区域）和环垦（树冠滴水线处宽 2 m 的环形区域）2 种方式（处理）对锥栗林地进行深挖垦复，挖地深度为 40 cm-50 cm，以不垦复作为对照；采用随机区组试验，每种处理设置 0.1 hm^2 的锥栗成林，3 次重复。

土壤取样：采用“S”形取样方法，每处理选取 5 个样方，3 次重复，试验开展前设置好取样位置，钉立木桩作为标记；采用长度 30 cm、直径 4.5 cm 的圆柱形不锈钢管进行取样，每个样方分别采集地面水平线以下 0-30 cm 处和 30-60 cm 处的土样，取样后立即称量土壤湿重，分别装入塑料袋并做好标记；取样时间分别为 2014 年 1 月（垦复前）和 2017 年 12 月（试验开展第 4 年）。

土壤理化指标测定：土样采集后带回实验室进行烘干处理，烘干至恒重后分别称量土壤干重；根据土样湿重、干重和体积测算土壤含水率和土壤容重，采用比重瓶法测定土壤比重；土样有机质含量、水解性氮、有效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁及 pH 值分别参照 LY/T 1237-1999、LY/T 1228-2015、LY/T 1232-2015、LY/T 1234-2015、LY/T 1245-1999、LY/T 1245-1999 及 LY /T 1239-1999 测定。

锥栗叶片取样及其表型、生理指标测定：于 2017 年 7 月份叶片营养元素稳定时，采集 2 种垦复处理和对照区的锥栗叶片，采样时期和方法参照刘同祥等（2017），每种处理随机选取 5-10 株生长发育较为一致、无病虫害的锥栗大树，从树体中上部四周采集 30-50 片完整的功能叶片，带回实验室进行表型和生理指标测定。叶片长度、叶片宽度、叶形指数、叶面积等采用 CI-202 便携式叶面积仪测量，叶柄长度采用游标卡尺测量，叶片湿重采用百分之一天平称量，测量完成后对叶片进行烘干处理，烘干至恒重后称量干重，计算比叶重和叶片含水率；叶绿素含量和类胡萝卜素含量测定参照王文杰等（2009）；叶片可溶性糖含量采用蒽酮比色法；叶片氮含量测定参照范志影等（2007）；叶片磷含量、钾含量、钙含量及镁含量测定参照 LY/T 1270-1999。

锥栗树体生长、结果及产量调查测定：于 2017 年 8-9 月份对不同垦复处理和对照区锥栗树体生长、结果性状及产量进行观测，每种处理每区组选取 15 株生长发育较为一致、无病虫害的锥栗大树，3 次重复；树体生长、结果性状及产量等均以单株为测量单位，每种处理取 45 株树的平均数。

锥栗果实表型及营养品质指标测定：于 2017 年 9-10 月份对锥栗果实表型及营养品质指标进行测定，每种处理随机选取 5-10 株生长发育较为一致、无病虫害的锥栗大树，从树体中上部四周采集 30-50 个饱满、无病虫害的成熟栗苞，带回实验室进行表型和营养品质指标测定。淀粉含量、可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法；蛋白质、磷、钾、钙、镁及氨基酸总量分别参照 GB 5009.5-2010、GB/T 5009.87-2003、GB/ T 5009.91-2003、GB/T 5009.268-2016、GB/ T 5009.90-2003 及 GB/T 8314-2013 测定。

1.3 数据分析

采用 EXCEL 表格对原始数据进行录入和统计，并计算不同性状或指标的平均值；利用 SAS 8.2 软件中多重比较（Duncan 法）和简单相关系数（Pearson 积矩相关系数）程序包对统计数据分别进行多重比较和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同垦复方式对林地土壤理化性质的影响

研究发现，深挖垦复对锥栗林地土壤改善效果较为显著，表 1 为深挖垦复第 4 年 2 种垦复方式试验区、对照区以及垦复前土壤理化性质测定分析结果。从表中可以看出，全垦和环垦试验区第 4 年土壤含水率、土壤孔隙度、有机质含量以及各种矿质元素含量等较对照区和垦复前均有不同程度的增加，而土壤容重较对照区和垦复前有所降低，其中全垦和环垦试验区 0-30 cm 处土壤含水率较垦复前分别提高 58.46%和 34.09%，较对照区分别提高 108.65%和 76.56%；土壤容重较垦复前分别降低 35.46%和 31.21%，较对照区分别降低 31.58%和 27.07%；土壤孔隙度较垦复前分别提高 33.71%和 28.37%；有机质含量较垦复前分别提高 17.76%和 40.59%；全垦区和环垦区 0-30 cm 处土壤水解性氮、有效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁等矿质元素含量显著高于对照区和垦复前，其中 2 种垦复区的速效钾含量是对照区的 3 倍以上，交换性镁含量是对照区的 2 倍。此外，全垦和环垦试验区的土壤 pH 值明显高于对照区和垦复前。分析结果充分表明深挖垦复不仅能改善土壤透气性、增加土壤含水率和有机质含量，而且能够促进林地土壤对肥料的有效吸收和合理利用。

chinaXiv:201810.00247v1

ChinaXiv合作期刊

表 1 不同垦复方式林地土壤理化性质分析

Table 1 Analysis of soil physical and chemical properties of woodland with different reclamation methods

垦复方式 Reclamation methods	取样深度 Sampling depth	土壤含水率 Soil moisture content（%）	土壤容重 Soil bulk density（g·cm^{-3}）	土壤孔隙度 Soil porosity（%）	有机质含量 Organic content（g·kg^{-1}）	水解性氮含量 Hydrolytic nitrogen content（mg·kg^{-1}）	有效磷含量 Effective phosphorus content（mg·kg^{-1}）	速效钾含量 Available potassium content（mg·kg^{-1}）	交换性钙含量 Exchangeable calcium content（mg·kg^{-1}）	交换性镁含量 Exchangeable magnesium content（mg·kg^{-1}）	pH 值 pH value
全垦 Whole area reclamation	0-30 cm	25.10	0.91	66.04	20.2	116.3	357	268	140	142	4.61
	30-60 cm	26.23	1.09	59.08	11.0	96.3	276	177	79.3	35.6	4.24
环垦 Ring area reclamation	0-30 cm	21.24	0.97	63.40	23.9	105.7	392	257	128	148	4.39
	30-60 cm	21.20	1.10	58.17	12.2	88.5	296	144	77.8	21.7	4.43
对照 Control	0-30 cm	12.03	1.33	49.24	18.6	63.8	263	75.4	111	75.6	4.35
	30-60 cm	17.02	1.18	57.31	9.67	68.2	131	80	83.1	27.3	4.11
垦复前 Before reclamation	0-30 cm	15.84	1.41	49.39	17.0	76.9	252	206	108	65.1	4.19
	30-60 cm	18.88	1.36	49.81	18.2	78.2	214	111	66.6	34.6	4.12

chinaXiv:201810.00247v1

2.2 不同垦复方式对锥栗叶片表型及生理特征的影响

不同垦复方式锥栗叶片表型性状分析结果见表 2。从表中可以看出，全垦、环垦试验区及对照区锥栗叶片长度、叶片宽度、叶形指数、叶面积等性状均值差异均不显著，而叶柄长度、比叶重、含水率等性状存在显著差异，其中比叶重以全垦区最高，达 85.52 g/m^2，其次为环垦区，均显著高于对照区；叶片含水率以环垦区最高，为 57.18%，其次为全垦区，而对照区仅有 43.63%。

表 2 不同垦复方式锥栗叶片表型性状分析

Table 2 Analysis of leaf phenotypic characters of *C. henryi* with different reclamation methods

垦复方式 Reclamation method	叶片长度 Leaf length（cm）	叶片宽度 Leaf width（cm）	叶形指数 Leaf shape index	叶面积 Leaf area（cm^2）	叶柄长度 Petiole length（cm）	比叶重 Specific leaf weight（g·m^{-2}）	含水率 Water content（%）
全垦 Whole area reclamation	16.78 a	5.96 a	2.82 a	72.50 a	1.47 b	85.52 a	51.10 b
环垦 Ring area reclamation	16.27 a	5.90 a	2.76 a	69.79 a	1.52 b	75.97 b	57.18 a
对照 Control	16.13 a	5.88 a	2.74 a	71.45 a	1.59 a	68.49 c	43.63 c

注：同列不同字母表示差异显著（P<0.05），下同。

Note: The different letters within the same column mean the significant differences at P<0.05, the same below.

不同垦复方式锥栗叶片生理特征分析结果见表 3。从表中可以看出，不同垦复试验区锥栗叶片各项生理指标均存在差异，其中类胡萝卜素含量、钙含量及镁含量在不同试验区之间差异均达到显著水平，而叶绿素总量、叶绿素 a/b、可溶性糖含量、氮含量、磷含量及钾含量在部分试验区之间存在显著差异。除叶绿素 a/b 指标外，全垦和环垦试验区锥栗叶片其余各项生理指标均高于或显著高于对照区。

表 3 不同垦复方式锥栗叶片生理特征分析

Table 3 Analysis of leaf physiological characteristics of *C. henryi* with different reclamation methods

垦复方式 Reclamation method	叶绿素总量 Total chlorophyll（mg·L^{-1}）	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b	类胡萝卜素含量 Carotenoid content（mg·L^{-1}）	可溶性糖含量 Soluble sugar content（%）	氮含量 Nitrogen content（g·kg^{-1}）	磷含量 Phosphorus content（g·kg^{-1}）	钾含量 Potassium content（g·kg^{-1}）	钙含量 Calcium content（g·kg^{-1}）	镁含量 Magnesium content（g·kg^{-1}）
全垦 Whole area reclamation	2.12 a	4.48 b	0.48 b	8.58 a	26.30 a	1.48 a	8.10 a	3.66 a	1.36 a
环垦 Ring area reclamation	2.17 a	4.49 b	0.57 a	8.43 a	25.40 ab	1.49 a	7.15 b	3.53 b	1.26 b
对照 Control	2.06 b	5.17 a	0.40 c	6.98 b	24.70 b	1.40 b	7.06 b	3.02 c	1.04 c

2.3 不同垦复方式对锥栗树体生长、结果及产量的影响

对不同垦复试验区第 4 年锥栗树体生长、结果及产量情况（表 4）进行调查统计发现，锥栗树高在全垦、环垦及对照区差异不显著，而锥栗地径和冠幅面积为环垦区大于全垦和对照区，且环垦与全垦差异显著；不同垦复试验与对照区锥栗结果性能存在差异，其中全垦和环垦试验区结果枝数、结果数显著大于对照区；空苞率以对照区最高，显著高于全垦及环垦试验区；单位面积产量以全垦区最高，达 0.21 kg/m^2，其次为环垦区，均显著高于对照。表明全垦及环垦对锥栗结实能力和产量有一定的提升效果。

表 4 不同垦复方式锥栗生长、结实及产量情况统计

Table 4 Statistics on growth, fruiting and yield of *C. henryi* with different reclamation methods

垦复方式 Reclamation methods	树高 Height（m）	地径 Ground diameter（cm）	冠幅面积 Crown area（m^2）	结果母枝数 Number of maternal bearing branch（个）	结果枝数 Number of bearing branch（个）	结果数 Fruiting number（个）	空苞率 Empty bract rate（%）	单位面积产量 Yield per unit area（kg·m^{-2}）
全垦 Whole area reclamation	5.6 a	17.3 b	24.1 b	139 a	242 a	498 a	13.06 b	0.21 a
环垦 Ring area reclamation	5.5 a	18.2 a	27.1 a	127 ab	215 b	456 b	13.84 b	0.16 b
对照 Control	5.7 a	16.9 b	25.0 ab	120 b	183 c	368 c	17.00 a	0.12 c

2.4 不同垦复方式对锥栗果实表型及营养品质的影响

从表 5 中可以看出，不同垦复试验区锥栗果实表型性状均存在差异，其中栗苞总重在不同试验区差异达到显著水平，排列顺序为全垦>环垦>对照，全垦和环垦试验区单果质量、坚果横径、坚果纵径、出籽率大于或显著大于对照区，而出仁率在不同试验区差异不显著，坚果含水率则以对照区最高，显著高于全垦和环垦区。

表 5 不同垦复方式锥栗果实表型性状分析

Table 5 Analysis of fruit phenotypic characteristics of *C. henryi* with different reclamation methods

垦复方式 Reclamation methods	栗苞总重 Total weight of chestnut bract（g）	单果质量 Nut weight（g）	坚果横径 Nut transverse diameter（cm）	坚果纵径 Nut longitudinal diameter（cm）	出籽率 Seed rate（%）	出仁率 Kernel rate（%）	坚果含水率 Nut moisture content（%）
全垦 Whole area reclamation	29.58 a	11.59 a	26.5 a	31.0 ab	39.18 a	85.69 a	45.13 b
环垦 Ring area reclamation	28.20 b	11.17 a	25.8 ab	31.6 a	39.90 a	85.88 a	45.14 b
对照 Control	26.69 c	10.18 b	25.4 b	30.6 b	38.53 b	85.56 a	45.90 a

不同垦复试验区锥栗坚果营养成分指标分析结果见表 6，其中可溶性糖含量、磷含量在不同试验区均存在显著差异，均以全垦区最高，其次为环垦区；全垦和环垦试验区锥栗坚果淀粉含量、钾含量、镁含量及氨基酸总量均高于或显著高于对照区，而蛋白含量、钙含量在不同试验区差异不显著。

表 6 不同垦复方式锥栗坚果营养成分指标分析

Table 6 Analysis of nut nutritional components of *C. henryi* with different reclamation methods

垦复方式 Reclamation methods	淀粉含量 Starch content（%）	可溶性糖含量 Soluble sugar content（%）	蛋白质含量 Protein content（%）	磷含量 Phosphorus content（g·kg^{-1}）	钾含量 Potassium content（g·kg^{-1}）	钙含量 Calcium content（g·kg^{-1}）	镁含量 Magnesium content（g·kg^{-1}）	氨基酸总量 Total amino acid（%）
全垦 Whole area reclamation	72.45 a	7.82 a	7.48 a	1.49 a	6.93 a	0.31 a	0.92 a	7.14 ab
环垦 Ring area reclamation	72.08 ab	7.41 b	8.14 a	1.38 b	7.25 a	0.29 a	0.96 a	7.56 a
对照 Control	71.09 b	7.08 c	7.90 a	1.28 c	6.52 b	0.28 a	0.85 b	6.81 b

chinaXiv:201810.00247v1

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201810.00247v1

2.5 土壤理化性状与锥栗生长、结果、叶片和果实表型以及营养品质的相关性分析

对不同垦复试验区 0-30 cm 处土壤理化性状与锥栗生长、结果、叶片和果实表型以及营养品质性状等进行相关性分析，结果如表 7 所示。从表中可以看出，除土壤容重外，土壤其余各项理化指标两两之间均为正相关关系，其中土壤孔隙度与水解性氮含量正相关达到显著水平，而土壤容重与土壤孔隙度、水解性氮含量负相关分别达到极显著和显著水平。

锥栗叶片表型及生理指标与土壤理化指标相关性分析结果中，除叶柄长度和叶绿素 a/b 外，叶片其余性状与土壤容重均呈负相关关系，其中叶片可溶性糖含量、钙含量与土壤容重负相关达到显著水平；此外，叶片长度与土壤 pH 值呈显著正相关，叶柄长度与土壤交换性钙含量呈显著负相关，叶绿素 a/b 与土壤速效钾含量呈显著负相关，叶片可溶性糖含量与土壤孔隙度、速效钾含量呈显著正相关，叶片磷含量与土壤交换性镁含量、叶片钾含量与土壤 pH 值均呈显著正相关，叶片钙含量与土壤孔隙度、水解性氮含量正相关分别达到显著和极显著水平。

锥栗树体生长、结果及产量性状与土壤理化指标相关性分析结果中，除树高和空苞率外，其余指标与土壤容重均呈负相关关系；此外，结果数与土壤含水率、地径与土壤有机质含量正相关分别达到显著和极显著水平，而空苞率与土壤孔隙度、水解性氮含量分别为显著和极显著负相关关系。

锥栗果实表型性状及营养品质指标与土壤理化指标相关性结果显示，除坚果含水率和蛋白含量外，其余指标均与土壤容重呈负相关关系；此外，单果质量、淀粉含量与土壤含水率正相关分别达到极显著和显著水平，栗苞总重与土壤交换性钙含量、淀粉含量与水解性氮含量正相关均达到显著水平，而坚果含水率与土壤速效钾含量则为显著负相关关系。

表 7 土壤理化性状与锥栗生长、结果、叶片和果实表型以及营养品质相关性分析

Table7 Correlation analysis between soil physical and chemical properties and growth, fruiting, leaf and fruit phenotypes and nutritional quality of *C. henryi*

性状\性状 Traits\Traits	土壤含水率 Soil moisture content	土壤容重 Soil bulk density	土壤孔隙度 Soil porosity	有机质含量 Organic content	水解性氮含量 Hydrolytic nitrogen content	有效磷含量 Effective phosphorus content	速效钾含量 Available potassium content	交换性钙含量 Exchangeable calcium content	交换性镁含量 Exchangeable magnesium content	pH 值 pH value
土壤含水率 Soil moisture content	1.000									
土壤容重 Soil bulk density	-0.987	1.000								
土壤孔隙度 Soil porosity	0.990	-0.999**	1.000							
有机质含量 Organic content	0.506	-0.636	0.625	1.000						
水解性氮含量 Hydrolytic nitrogen content	0.995	-0.998*	0.999*	0.589	1.000					
有效磷含量 Effective phosphorus content	0.849	-0.922	0.916	0.886	0.897	1.000				
速效钾含量 Available potassium content	0.971	-0.997	0.995	0.697	0.990	0.950	1.000			
交换性钙含量 Exchangeable calcium content	0.991	-0.958	0.962	0.388	0.973	0.771	0.931	1.000		
交换性镁含量 Exchangeable magnesium content	0.934	-0.979	0.976	0.781	0.965	0.982	0.992	0.878	1.000	
pH 值 pH value	0.818	-0.717	0.727	-0.081	0.757	0.391	0.658	0.887	0.558	1.000
叶片长度 Leaf length	0.853	-0.759	0.768	-0.019	0.797	0.448	0.704	0.914	0.609	0.998*
叶片宽度 Leaf width	0.871	-0.782	0.791	0.018	0.818	0.480	0.729	0.929	0.638	0.995
叶面积 Leaf area	0.162	-0.003	0.017	-0.769	0.063	-0.384	-0.078	0.290	-0.203	0.699
叶柄长度 Petiole length	-0.991	0.957	-0.961	-0.384	-0.972	-0.769	-0.930	-0.999*	-0.876	-0.889
比叶重 Specific leaf weight	0.955	-0.896	0.902	0.227	0.920	0.653	0.856	0.986	0.785	0.952
叶片含水率 Leaf moisture content	0.728	-0.827	0.819	0.960	0.792	0.980	0.870	0.630	0.925	0.201
叶绿素总量	0.723	-0.823	0.815	0.962	0.788	0.979	0.867	0.625	0.922	0.195

Total chlorophyll 叶绿素 a/b Chlorophyll a/b	-0.961	0.993	-0.991	-0.724	-0.984	-0.962	-0.999*	-0.916	-0.996	-0.628
类胡萝卜素含量 Carotenoid content	0.661	-0.771	0.762	0.982	0.732	0.958	0.821	0.555	0.886	0.109
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.979	-0.999*	0.998*	0.672	0.994	0.939	0.999*	0.943	0.987	0.683
氮含量 Nitrogen content	0.954	-0.895	0.901	0.225	0.920	0.652	0.855	0.985	0.784	0.953
磷含量 Phosphorus content	0.924	-0.973	0.969	0.798	0.957	0.987	0.988	0.865	0.999*	0.536
钾含量 Potassium content	0.779	-0.670	0.680	-0.146	0.713	0.330	0.607	0.855	0.503	0.998*
钙含量 Calcium content	0.995	-0.998*	0.999*	0.588	1.000**	0.897	0.990	0.973	0.964	0.758
镁含量 Magnesium content	0.999*	-0.984	0.987	0.490	0.993	0.839	0.967	0.994	0.927	0.829
树高 Height	-0.686	0.792	-0.784	-0.975	-0.755	-0.967	-0.839	-0.583	-0.901	-0.143
地径 Ground diameter	0.512	-0.641	0.630	0.999**	0.594	0.889	0.702	0.393	0.785	-0.075
冠幅面积 Crown area	-0.065	-0.094	0.080	0.828	0.035	0.473	0.175	-0.196	0.297	-0.626
结果数 Fruiting number	0.999*	-0.982	0.985	0.480	0.992	0.832	0.963	0.995	0.922	0.835
空苞率 Empty bract rate	-0.995	0.998*	-0.999*	-0.593	-0.999**	-0.899	-0.991	-0.972	-0.966	-0.755
单位面积产量 Yield per unit area	0.956	-0.898	0.904	0.233	0.923	0.658	0.859	0.987	0.789	0.950
栗苞总重 Total weight of chestnut bract	0.979	-0.934	0.939	0.319	0.954	0.723	0.902	0.997*	0.841	0.919
单果质量 Nut weight	1.000**	-0.987	0.989	0.504	0.995	0.847	0.971	0.992	0.933	0.820
出籽率 Seed rate	0.664	-0.774	0.765	0.981	0.735	0.959	0.823	0.559	0.888	0.114
出仁率 Kernel rate	0.603	-0.722	0.712	0.993	0.680	0.934	0.776	0.493	0.849	0.036
坚果含水率 Nut moisture content	-0.961	0.993	-0.991	-0.725	-0.983	-0.962	-0.999*	-0.916	-0.996	-0.627
淀粉含量 Starch content	0.999*	-0.991	0.993	0.528	0.997*	0.862	0.977	0.988	0.942	0.804
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.957	-0.899	0.905	0.234	0.923	0.659	0.860	0.987	0.790	0.950
蛋白质含量 Protein content	-0.433	0.285	-0.298	0.558	-0.341	0.109	-0.206	-0.548	-0.081	-0.872
磷含量 Phosphorus content	0.967	-0.914	0.919	0.268	0.936	0.685	0.877	0.992	0.810	0.938
钾含量 Potassium content	0.736	-0.834	0.826	0.957	0.799	0.983	0.876	0.640	0.929	0.213
钙含量 Calcium content	0.912	-0.836	0.843	0.108	0.867	0.558	0.788	0.958	0.705	0.982
镁含量 Magnesium content	0.791	-0.878	0.871	0.928	0.848	0.995	0.914	0.703	0.957	0.295
氨基酸总量 Total amino acid	0.634	-0.748	0.739	0.988	0.707	0.947	0.799	0.526	0.869	0.074

注：* 表示相关性达到显著水平（P<0.05），** 表示相关性达到极显著水平（P<0.01）。

Note：* Indicating that the correlation is significant (P<0.05), ** Indicating that the correlation is extremely significant (P<0.01).

3 讨论

土壤是果树生长发育所需水分、有机质以及营养元素的主要来源，果园土壤管理是果树栽培领域的重要内容和基础。科学的果园土壤管理方式和优良的土壤理化性质，能够为果树根系的生长发育提供良好的水、肥、气、热环境，可以维持和提高土壤肥力，从而促进果树生长发育，提高果品产量和质量（张猛，2004；孙霞等，2011；李艳丽等，2012）。

本研究中，连续多年的深挖垦复对于锥栗林地土壤改善效果较为显著，其中最为直接的影响是土壤容重大大降低，土壤有机质含量显著增加。土壤容重即田间自然垒结状态下单位容积土体（包

chinaXiv:201810.00247v1

括土粒和孔隙）的质量或重量，深挖垦复改变了原有锥栗林地表层和深层的土壤结构，使得单位容积土体重量降低，土壤孔隙度显著增加，土壤变得疏松，透气性增强，从而利于根系汲取养分，这与樊建琼（2014）的研究结果一致；同时，垦复将大量的杂草灌木翻入深层土壤中，并通过在土壤中降解、转化，形成腐殖质，从而为土壤提供了大量的碳源，土壤有机碳的分解又可以为林分提供大量的养分，使得土壤中的有机质含量等不断提高（刘广路等，2011），本文中全垦和环垦区土壤有机质含量较垦复前和对照区大幅提高则很好的印证了这一结果。有机质是果树生长发育的重要能量来源和营养源，是旱地果园肥力的基础，通常作为土壤肥力水平高低的一个重要指标（魏树伟等，2015；沈一凡，2016），因此，通过深挖垦复不断提高土壤有机质含量是增加土壤肥力和促进果树高产稳产的重要举措，亦是行之有效的方法。此外，全垦和环垦区土壤水解性氮、有效磷、速效钾、交换性钙以及交换性镁等元素含量均高于垦复前和对照区，表明垦复区土壤对各种肥料能够进行有效吸收、贮存和利用，进一步证实了深挖垦复改良土壤的显著作用。有趣的是，文中环垦区土壤有机质含量、有效磷含量以及交换性镁含量高于全垦区，其中全垦和环垦区土壤有机质含量（第 4 年）分别为 20.2 g/kg 和 23.9 g/kg，较垦复前分别提高 17.76%和 40.59%，推测其可能原因是全垦区垦复面积大于环垦区，较大的垦复面积加速了养分的消耗，不利于养分的积累，这与吴起明（2003）的研究结论相似。因此，从土壤保肥能力的角度来看，环垦效果可能好于全垦。

叶片是植物进行光合作用的主要器官，合成有机物为根系从外界吸收水分和矿质营养提供动力，并具有蒸腾作用，叶片主要表型和生理特征，直接影响其光合作用能力和效率（滕守振等，2017）。本研究结果显示，多年的深挖垦复对于锥栗叶片主要表型、叶绿素含量以及各种矿质元素含量的提升具有显著效果，其中全垦和环垦区锥栗叶片含水率分别达到 51.10%和 57.18%，显著高于对照区（43.63%），叶绿素含量、可溶性糖含量以及氮、磷、钾等矿质元素含量同样高于或显著高于对照区。有研究表明，土壤养分的充足供应能显著提高锥栗叶片蛋白和叶绿素含量，并极大地促进其光合作用能力（徐凤兰和胡哲森，2001）；氮、磷、钾均参与植物的光合作用，其中氮被称为“生命元素”，是叶绿素及叶绿素蛋白的重要组分，直接参与光合作用，从而影响到光合作用及干物质积累，冷华妮等（2009）研究表明，随氮水平的增加，在一定范围内植物的叶绿素含量及净光合速率呈上升趋势；磷参与光合磷酸化，控制叶片中碳水化合物代谢及蔗糖外运，供磷充足，叶片当日光合输出是缺磷的 1.5 倍，叶功能明显增强（田寿乐等，2015）。深挖垦复通过改变锥栗林地土壤的理化性质和增加土壤肥力，继而增强了对锥栗叶片的供肥能力，使得叶片能更好地进行光合作用，而叶片通过光合作用产生动力又促使锥栗根系吸收和贮存更多的养分，是一个良性循环往复的过程。

多年的深挖垦复对于锥栗树体生长、结实能力、单位面积产量以及栗果质量和营养品质的提升同样具有显著的作用。其中，环垦区锥栗树地径和冠幅面积分别达到 18.2 cm 和 27.1 m^2，分别较对照提高了 7.69%和 8.40%，而单位面积产量、坚果淀粉含量、可溶性糖含量以全垦区最高，其单位面积产量更是高达 0.21 kg/m^2，为对照区的 1.75 倍，且全垦和环垦区锥栗空苞率显著低于对照区。费晓康（2013）研究结果表明，成林垦复显著提高了核桃树高、冠幅、结果数、单果重及其单株产量，其中垦复核桃结果数和单株产量分别是未垦复的 1.96 倍和 1.80 倍；黄铭利等（2004）研究结果表明，林地垦复对锥栗单株产量提升效果显著，3 种垦复方式单株产量较未垦复均增长 80%以上。此外，本文中相关性分析结果显示，除坚果含水率和蛋白质含量外，锥栗单位面积产量、果实表型及营养品质性状与土壤含水率、土壤孔隙度、有机质以及各种元素含量均呈现出正相关关系。深挖垦复提高了土壤有机质含量，使得土壤氮、磷、钾等矿质元素均衡供应。胡卫滨等（2014）研究表明，土壤有机质与氮、磷、钾含量对板栗产量均有促进作用，其中有机质对板栗产量直接作用最大。氮、磷、钾是植物生长发育必需的大量营养元素，在植物生命活动中具有不可替代的作用，并与生态系统中碳、水、磷、硫等营养元素间存在明显的耦合作用（浙江农业大学，1991），其中氮对促进果树营养生长的作用明显，磷、钾肥对增强树势、提高果实品质具有显著效果，如磷充足可使细胞可溶性糖和磷脂含量增加（刘振岩和李震三，2000），钾可促进果实糖分积累（何忠俊等，2002）。深挖垦复使得土壤理化性质以及涵养水源、保肥供肥能力和养分有效性等同步提高，土壤结构和肥

chinaXiv:201810.00247v1

力的改善，有效地促进了锥栗树的生长、结实能力和果实生长发育，从而显著提高单位面积产量以及果实淀粉、可溶性糖等营养物质含量，是锥栗维持较高生产力的保障。

4 结论

2 种垦复方式对锥栗林地土壤改良效果显著，垦复第 4 年土壤容重大幅降低，土壤有机质含量显著提升，土壤肥力及其保水保肥能力显著增强，其中环垦方式土壤保肥能力优于全垦方式；土壤肥力的提升继而增强了其对锥栗树体、结果枝以及叶片的供肥能力，使得叶片叶绿素含量等显著提高并有利于光合作用，且有效促进了锥栗树体生长发育，显著提高了锥栗结果性能、产量以及栗果质量和营养品质，其中全垦和环垦区单位面积产量分别是对照的 1.75 倍和 1.33 倍，且空苞率大幅降低。综上，深挖垦复是改良林地土壤和提高锥栗生产力的有效举措。

参考文献：

FAN JQ, 2014. Effects of soil management ways on soil properties of Apple orchards [D]. Yangling: Northwest A & F University. [樊建琼，2014. 土壤管理方式对苹果园土壤性质的影响[D]. 杨凌：西北农林科技大学.]

FAN XM, YUAN DY, TANG J, et al, 2015. Sporogenesis and gametogenesis in Chinese chinquapin (*Castanea henryi* (Skam) Rehder & Wilson) and their systematic implications[J]. Trees-Struct Funct, 29(6): 1713-1723.

FAN ZY, LIU QS, ZHANG P, et al, 2007. Comparison of the Kjeldahl method and the Dumas method for total Nitrogen determination in Grasses [J]. Mod Sci Instrum, (1): 46-47. [范志影，刘庆生，张萍，等，2007. 用凯氏法和杜马斯法测定植物样品中的全氮[J]. 现代科学仪器，(1): 46-47.]

FEI XK, 2013. The effect of measures for condition improvement on Walnut growth [J]. Shaanxi Forest Sci Technol, (3): 46-47. [费晓康，2013. 核桃成林垦复对生长结果的影响[J]. 陕西林业科技，(3): 46-47.]

GONG BC, LIU GB, 2013. ISSR analysis of genetic diversity in natural populations of *Castanea henryi* [J]. J Plant Genet Resour, 14(4): 581-587. [龚榜初，刘国彬，2013. 锥栗自然居群遗传多样性的 ISSR 分析[J]. 植物遗传资源学报，14(4): 581-587.]

HE ZJ, ZHANG GL, ZHANG GW, et al, 2002. Effects of potash application on the output and quality of Kiwifruit in loess area [J]. J Fruit Sci, 19(3): 163-166. [何忠俊，张广林，张国武，等，2002. 钾对黄土区猕猴桃产量和品质的影响[J]. 果树学报，19(3): 163-166.]

HUANG ML, LI JL, ZHONG GY, 2004. Effect of site preparation on individual tree production of *Castanea henryi* [J]. Nonwood Forest Res, 22(1): 57-58. [黄铭利，李家礼，衷桂有，2004. 不同整地方法对锥栗单株产量的影响[J]. 经济林研究，22(1): 57-58.]

HUANG YC, 2009. Effect of improvement measures on growing and fruiting of mature Chestnut plantations [J]. Shaanxi Forest Sci Technol, (3): 36-37. [黄应成，2009. 板栗成林垦复对生长结果影响的试验研究[J]. 陕西林业科技，(3): 36-37.]

HU WB, PAN X, TONG WR, et al, 2014. Effects of soil nutrient and fertilization on yield of *Castanea mollissima* [J]. J Zhejiang Forest Sci & Tech, 34(1): 38-41. [胡卫滨，潘炘，童文仁，等，2014. 土壤养分和施肥对板栗产量的影响[J]. 浙江林业科技，34(1): 38-41.]

JIANG ZN, 2012. The research on classification transformation technology of low yield stands of *Camellia oleifera* [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology. [姜志娜，2012. 油茶低产林分类改造技术研究[D]. 长沙：中南林业科技大学.]

LENG HN, CHEN YT, RAO LB, et al, 2009. Effects of N rate on seedling growth and uptake and utilization of Nitrogen and Phosphorus in different provenances of *Liquidambar formosana* Hance [J]. J Soil Water Conserv, 23(6): 79-84. [冷华妮，陈益泰，饶龙兵，等，2009. 供氮水平对枫香种源幼苗生

chinaXiv:201810.00247v1

ChinaXiv合作期刊

长及氮、磷吸收利用的影响[J]. 水土保持学报，23(6): 79-84.]
LI YL, DONG CX, XU YC, 2012. Effects of different soil management on soil properties and pear tree growth [J]. J Nanjing Agr Univ, 35(6): 75-81. [李艳丽，董彩霞，徐阳春，2012. 土壤管理方式对梨园土壤性状及树体生长的影响[J]. 南京农业大学学报，35(6): 75-81.]
LIU GL, FAN SH, QI LH, et al, 2011. Soil properties of different *Phyllostachys pubescens* forests with soil reclamation [J]. Acta Agr Univ Jiangxiensis, 33(1): 68-75. [刘广路，范少辉，漆良华，等，2011. 不同垦复时间毛竹林土壤性质变化特征研究[J]. 江西农业大学学报，33(1): 68-75.]
LIU TX, GONG BC, XU Y, et al, 2017. Multivariate analysis and optimum proposals of soil nutrient and leaf nutrient with fruit qualities in 'Jiro' Persimmon orchard [J]. Forest Res, 30(5): 812-822. [刘同祥，龚榜初，徐阳，等，2017. '次郎'甜柿土壤养分、叶片养分与果实品质的多元分析及优化方案[J]. 林业科学研究，30(5): 812-822.]
LIU ZY, LI ZS, 2000. Shandong Fruits [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press: 257-260.[刘振岩，李振三，2000. 山东果树[M]. 上海：上海科学技术出版社：257-260.]
MA HQ, JIANG XB, GONG BC, et al, 2013. Advance of researches on *Castanea henryi* and of further development in China [J]. J Zhejiang Forest Sci & Tech, 33(1): 62-67. [马海泉，江锡兵，龚榜初，等，2013. 我国锥栗研究进展及发展对策[J]. 浙江林业科技，33(1): 62-67.]
PENG XB, 2017. Study on ecological and economic benefits of compound management of *Castanea henryi* and Polygonatumby [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology. [彭小博，2017. 锥栗与多花黄精复合经营生态经济效益[D]. 长沙：中南林业科技大学.]
SHEN YF, 2016. The influence of different soil managements in *Carya cathayensis* [D]. Hangzhou: Zhejiang A & F University. [沈一凡，2016. 土壤管理对山核桃土壤养分及生长的影响[D]. 杭州：浙江农林大学.]
SUN X, CHAI ZP JIANG PA, et al, 2011. Effects of soil managements on soil physical and chemical properties of the apple orchard in the south of Xinjiang [J]. Prat Acult Sci, 28(2): 189-193. [孙霞，柴仲平，蒋平安，等，2011. 土壤管理方式对苹果园土壤理化性状的影响[J]. 草业科学，28(2): 189-193.]
TENG SZ, WANG H, LIANG HS, et al, 2017. Genome-wide association study of chlorophyll content in Maize leaves [J]. Biotechnol Bull, 33(4): 98-103. [滕守振，汪海，梁海生，等，2017. 玉米叶片叶绿素含量的全基因组关联性分析[J]. 生物技术通报，33(4): 98-103.]
TIAN SL, SUN XL, SHEN GN, et al, 2015. Effects of compound fertilizer of $(NH_2)_2CO$ and KH_2PO_4 on the chestnut photosynthesis characteristics, growth and fruiting [J]. Chin J Appl Ecol, 26(3): 747-754. [田寿乐，孙晓莉，沈广宁，等，2015. 尿素与磷酸二氢钾配施对板栗光合特性及生长结实的影响[J]. 应用生态学报，26(3): 747-754.]
WANG WJ, HE HS, GUAN Y, et al, 2009. Methodological comparison of chlorophyll and carotenoids contents of plant species measured by DMSO and Acetone-extraction methods [J]. Bull Botan Res, 29(2): 224-229. [王文杰，贺海升，关宇，等，2009. 丙酮和二甲基亚砜法测定植物叶绿素和类胡萝卜素的方法学比较[J]. 植物研究，29(2): 224-229.]
WEI SW, WANG SM, ZHANG Y, et al, 2015. Effects of different soil management methods on the soil nutrients, enzyme activity and fruit quality of pear orchards [J]. Acta Prat Sinica, 24(12): 46-55. [魏树伟，王少敏，张勇，等，2015. 不同土壤管理方式对梨园土壤养分、酶活性及果实风味品质的影响[J]. 草业学报，24(12): 46-55.]
WU QM, 2003. Effects of site preparation modes on the growth of young forests and soil fertility of *Pinus massoniana* [J]. Acta Agr Univ Jiangxiensis, 25(2): 230-232. [吴起明，2003. 整地方式对马尾松幼林生长及土壤肥力的影响研究[J]. 江西农业大学学报，25(2): 230-232.]
XU FL, HU ZS, 2001. Growth effect of Chestnut plantation after applying complex fertilizer [J]. J

chinaXiv:201810.00247v1

Northwest Forest Univ, 16(4): 33-36. [徐凤兰，胡哲森，2001. 复合肥对锥栗生长效应的研究[J]. 西北林学院学报，16(4): 33-36.]

YANG L, WU CL, WU XL, et al, 2018. Preliminary study on fruiting characteristics and parental selection of *Castanea henryi* under different pollination methods [J]. J zhejiang Agr Sci, 59(3): 431-435. [杨龙，吴聪连，吴小林，等，2018. 锥栗不同授粉方式结实性状及亲本选配初步研究[J]. 浙江农业科学，59(3): 431-435.]

ZHANG M, 2004. Effects of soil managements on soil in Plum orchards [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University. [张猛，2004. 土壤管理方式对李园土壤影响研究[D]. 雅安：四川农业大学.]

Zhejiang Agricultural University, 1991. Plant nutrition and fertilization [M]. Beijing: China Agricultural Press. [浙江农业大学，1991. 植物营养与肥料[M]. 北京：中国农业出版社.]

chinaXiv:201810.00247v1